风速和偏热处理对肉仔鸡生理、内分泌和免疫指标的影响[1]

张少帅[1] 刁华杰[1,2] 张敏红[1*] 冯京海[1] 周 莹[1] 李 萌[1,2] 厉秀梅[1]

（1.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养学国家重点实验室，北京 100193；2. 东北农业大学动物科技学院，哈尔滨 150030）

摘 要：本试验旨在研究不同风速和偏热处理对肉仔鸡生理、内分泌和免疫指标的影响。选取 42 日龄体重相近、健康的爱拔益加肉仔公鸡 150 羽，随机分成 15 个处理，每个处理 10 羽，每羽鸡作为 1 个重复。试验动物放在环控舱中（温度 21 ℃，相对湿度 60%），每次试验处理前从中随机挑选 10 羽，放置在另一个由本实验室研发的纵向通风试验环控舱中。每次处理分 6 h 适应期（自由采食与饮水）和 6 h 试验期（禁食禁水），适应期温湿度与试验前一致。试验期将环控舱的温湿度调至试验要求（相对湿度保持不变），风速由纵向通风实现。试验采用 3×5 因子设计，试验温度分 3 个水平：26、29 和 32 ℃；风速分为 5 个水平：0、0.5、1.0、1.5 和 2.0 m/s。各试验处理条件在第 1 小时内实现，第 2~6 小时分别采集数据。结果表明：1）风速和偏热处理的交互作用显著影响肉仔鸡体核温度（Tc）、呼吸频率（Fr）、皮肤温度（Ts）以及血清三碘甲腺原氨酸（T_3）和皮质酮含量（$P<0.05$）。与 0 风速相比，在 26 ℃偏热温度下，1.5 m/s 及以上风速显著降低肉仔鸡 Tc（$P<0.05$），2.0 m/s 及以上风速显著降低 Fr（$P<0.05$），1.5 m/s 及以上风速显著降低耳叶皮温（Tes）（$P<0.05$），1.0 m/s 及以上风速显著降低鸡冠皮温（Tcs）和小腿皮温（Tss）（$P<0.05$）；29 ℃偏热温度下，1.0 m/s 及以上风速显著降低肉仔鸡 Tc、Tes、Tcs 和 Tss（$P<0.05$）；32 ℃偏热温度下，1.0 m/s 及以上风速显著降低肉仔鸡 Tc 和 Fr（$P<0.05$），0.5 m/s 及以上风速显著降低肉仔鸡 Tes、Tcs 和 Tss（$P<0.05$）；较高偏热和无风（32 ℃+0 风速）或较高偏热和低风（32 ℃+0.5 m/s 风速）下肉仔鸡 Tc、Ts、Fr 较高，血清 T_3 含量较低，应激程度较大。2）偏热处理下，低风速（0.5 m/s）会加重肉仔鸡热负荷，风速对肉仔鸡免疫指标影响较小，最适风速为 1.5 m/s。总之，偏热处理下风速不同程度影响肉仔鸡生理、内分泌和免疫指标。

关键词：风速；急性偏热；肉仔鸡；生理；内分泌；免疫

中图分类号：S815　　文献标识码：A　　文章编号：

收稿日期：2016－07－15

基金项目：国家“十二五”科技支撑课题“畜禽健康养殖环境控制关键技术与集成”（2012BAD39B02）；国家重点研发计划课题“肉禽舒适环境的适宜参数及限值研究”（2016YFD0500509）；中国农业科学院科技创新工程(ASTIP-IAS07)

作者简介：张少帅（1991－），男，河北沙河人，硕士研究生，研究方向为家禽营养与环境。E-mail： zss9587@126.com

*通信作者：张敏红，研究员，博士生导师，E-mail： azmh66@126.com

最早开始研究通风对于家禽的影响要追溯到 20 世纪 60 年代[1-2]。在 20 世纪末，通风已经在家禽生产中得到广泛的应用[3]。诸多试验证实了风速可以提高家禽生产性能[4-6]。风速同样影响家禽的生理指标。Furlan 等[7]在研究不同风速和处理时间对 36~42 日龄肉鸡体表温度和直肠温度的影响时发现，处理时间显著影响肉鸡腿部皮温和体温，且处理前 10 min 下降最快；4.5 m/s 以下的风速不会影响头部和背部温度。而 Yahav 等[8]在研究不同模式温度（恒温 20 ℃；变温 35/25 ℃、30/20 ℃）和风速（0.8~3.0 m/s）对火鸡影响时发现，其体温均维持在正常温度范围，这可能跟火鸡较强的耐热力和不同的处理方式有关。在 Yahav 等[4]另一项研究中，在高温环境下[（35±1.0） ℃，相对湿度（RH）（60±2.5）%]，最适宜的风速为 2.0 m/s，此时体温最低，过高（3.0 m/s）或过低（0.8 m/s）都会升高体温。

国内开展风速对家禽体热调节等方面的研究较晚。目前仅有陶秀萍[9]对温湿风进行了初步的研究，并得出了肉鸡温湿风指数模型，探究了风速对肉鸡生理生化的影响。不过其研究的试验条件为高温（35、38 和 41 ℃）和低风（0、0.7 和 1.2 m/s），并没有探究偏热温度（26~32 ℃）和较高风速（2.0 m/s）对肉鸡的影响。而风速对于家禽免疫功能等方面的研究也尚未见报道。

“偏热环境”尚无确切的定义，本课题组通过对肉仔鸡生长性能、生理、行为、体热调节、肠道菌群等方面初步的研究发现[10-14]，其具备以下特点：环境温度尚未达到传统意义上热应激范围，一般认为是 26~32 ℃，此时机体的某些生理机能等受到一定程度影响，但还未造成较深的机体损伤。且随着偏热温度的增加，不利影响也在进一步加重。在夏季实际生产中，往往会发生温度骤然上升，超过舒适温度区，此时风机开始工作，根据上升的幅度进行逐级调节，偏热温度和风速调节会同时存在，并对家禽的生产和生理等各方面产生影响。

因此，本试验拟以肉仔鸡为试验动物，探究风速和偏热处理对其生理、内分泌和免疫指标的影响，以期为实际生产中环境调控、精细化和舒适化养殖提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物

选取体重相近、健康的 42 日龄爱拔益加肉仔鸡公鸡 150 羽，体重为（2 706±88） g，随机分为 15 个处理，每个处理 10 羽，每羽作为 1 个重复。处理前所有试验鸡在环控舱（21 ℃+60% RH）中饲养。

饲养管理：试验在中国农业科学院北京畜牧兽医研究所动物营养学国家重点实验室昌平试验基地人工气候试验舱内进行，温度、湿度自动控制（精度±1 ℃、±7%），光照时间为 24 h。所用饲粮参照 NRC（1994）配制（表 1）。试验期间，肉仔鸡自由采食与饮水。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（饲喂基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (as-fed basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	56.51
豆粕 Soybean meal	35.52
豆油 Soybean oil	4.50
食盐 NaCl	0.30
石粉 Limestone	1.00
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.78
DL–蛋氨酸 *DL*-Met	0.11
预混料 Premix[1)]	0.28
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.73
粗蛋白质 CP	20.07
钙 Ca	0.90
有效磷 AP	0.40
赖氨酸 Lys	1.00
蛋氨酸 Met	0.42
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.78

[1)]预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of the diet：VA 10 000 IU,VD_3 3 400 IU,VE 16 IU,VK_3 2.0 mg,VB_1 2.0 mg,VB_2 6.4 mg,VB_6 2.0 mg,VB_{12} 0.012 mg,泛酸钙 pantothenic acid calcium 10 mg,烟酸 nicotinic acid 26 mg,叶酸 folic acid 1 mg,生物素 biotin 0.1 mg,胆碱 choline 500 mg,Zn($ZnSO_4\cdot7H_2O$) 40 mg,Fe ($FeSO_4\cdot7H_2O$) 80 mg,Cu($CuSO_4\cdot5H_2O$) 8 mg,Mn($MnSO_4\cdot H_2O$) 80 mg,I(KI) 0.35 mg,Se(Na_2SeO_3) 0.15 mg。

[2)] 计算值 Calculated values。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

每次试验处理前从环控舱中随机挑选 10 羽，放置在另一环控舱——本实验室研发的纵向通风试验舱（可实现 0~3 m/s 内的任意风速值，其中在 0~2 m/s 内精确度达到±0.10 m/s，在 2~3 m/s 内精度达到±0.15 m/s）中，有效饲养面积为 1 m^2，每次处理分 6 h 适应期（自由采食与饮水）和 6 h 试验期（禁食禁水）。适应期温湿度与试验前一致。试验期将环控舱的温湿度调至试验要求（RH 保持不变），风速的试验要求由纵向通风试验舱实现。

试验采用 3×5 因子设计，试验温度（T）分 3 个水平：26、29 和 32 ℃；风速（AV）分为 5 个水平：0、0.5、1.0、1.5 和 2.0 m/s。具体试验处理如表 2 所示。

表 2 试验处理

Table 2 Treatments of the experiment

处理号 No.	温度 T/℃	风速 AV/(m/s)	处理号 No.	温度 T/℃	风速 AV/(m/s)	处理号 No.	温度 T/℃	风速 AV/(m/s)
1	26	0	6	29	0	11	32	0
2	26	0.5	7	29	0.5	12	32	0.5
3	26	1.0	8	29	1.0	13	32	1.0
4	26	1.5	9	29	1.5	14	32	1.5
5	26	2.0	10	29	2.0	15	32	2.0

以上处理为连续进行，每个处理用时 12 h，15 个处理共计 7.5 d 完成。各试验处理条件在 1 h 内实现，第 2~6 小时分别采集数据。采用德图多功能测量仪（Testo 435-2）和德图热敏风速探头（测量范围：0~20.00 m/s，－20~70 ℃，0~100% RH；测量精度：0.03 m/s，±0.3 ℃，±2% RH；分辨率：0.01 m/s，0.1 ℃，0.1% RH）对试验期间温湿风进行监测。

1.2.2 样品采集与测定

1.2.2.1 生理指标

体核温度（core body temperature，Tc）：适应期开始时每处理随机选取 5 羽肉仔鸡，饲喂微型温度数据记录仪 DS1922L（分辨率 0.062 5 ℃，精度±0.05 ℃），在体内适应 6 h。试验期开始，待达到处理条件后，每隔 5 min 记录 1 次（试验前用软件进行设置），即连续记录试验期第 2~3 小时内的数据。试验结束后处死取出记录仪，用软件导出所记录的数据。

呼吸频率（respiratory frequency，Fr）：采用 Canon EOS 550D 摄像模式进行拍摄，后期

人工数出数据并记录。在试验期第 3~4 小时内，每隔 10 min 采集 1 次，每次测量每只鸡 1 min 的呼吸次数，共采集 6 次，每次随机选取其中 5 只鸡。注：29 ℃+0.5 m/s 处理时，相机存储卡损坏，仅记录部分数据，因此结果作为参考。

皮肤温度（skin temperature，Ts）：采集时间为试验期第 3~4 小时内。使用热红外成像仪（InfReC H2640，热分辨率 0.03 ℃、精度±1%）对肉仔鸡头部的侧面和小腿垂直拍摄，拍摄距离为 0.5 m，每隔 3 min 拍摄 1 次，连续拍摄 1 h，每只鸡拍摄 20 次。通过软件分析，记录每张照片中鸡头部侧面脸耳叶、鸡冠和小腿平均皮温[耳叶皮温(earlobe skin temperature，Tes)；鸡冠皮温(comb skin temperature，Tcs)；小腿皮温(shank skin temperature，Tss）]，取 20 个数据的平均值进行统计。其中每个处理中 5 只鸡作为 1 个拍摄循环。红外拍摄见图 1。

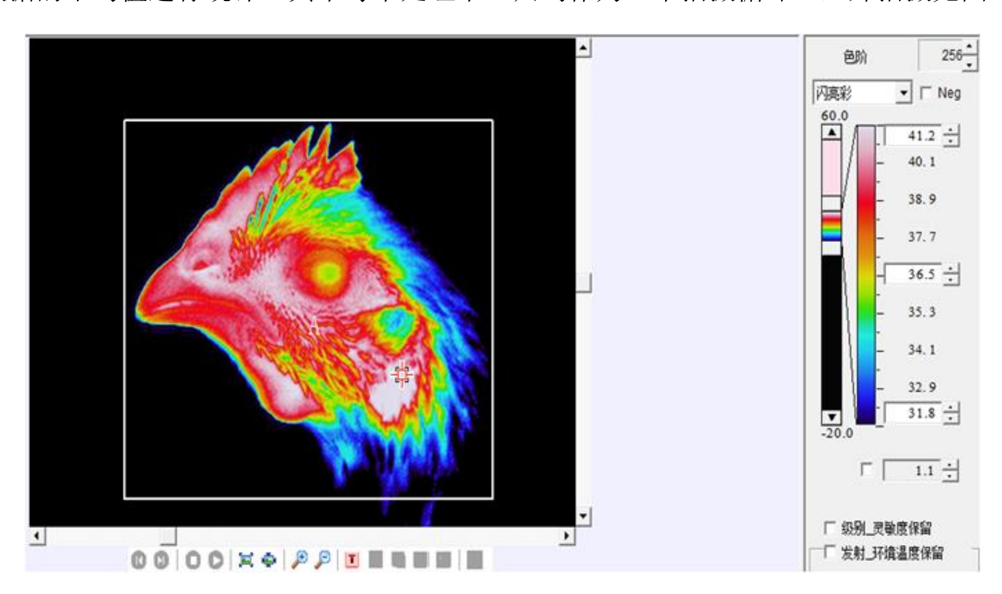


图 1　使用红外成像仪对肉仔鸡头部平均皮温的采集

Fig.1　Collection of head's average skin temperature of broiler chicken by infrared thermal imager

1.2.2.2　血清生化指标

试验期第 4~5 小时，随机选取每个处理中 5 只鸡进行翅静脉采血，3 000 r/min 离心 10 min 取上清液，迅速放入液氮中冷冻，后放入－80 ℃冰箱进行保存。检测指标为血清三碘甲腺原氨酸（3,5,3'-triiodothyronine,T_3）、甲状腺素（又称四碘甲腺原氨酸，3,5,3',5'-tetraiodothyronine,T_4）和皮质酮（cortisol,CORT）。以上检测所用试剂盒购于南京建成生物工程研究所，采用酶联免疫吸附（ELISA）测定法，具体操作按照使用说明书，所用酶标仪为美国宝特公司生产，型号为 Power Wave XS2。

1.2.2.3　免疫指标

血清蛋白、溶菌酶和细胞因子：总蛋白含量测定采用考马斯亮蓝法，白蛋白含量测定采用溴甲酚绿比色法，两者差值为球蛋白含量。血清溶菌酶采用光学法测定。细胞因子测定采

用 ELISA 法。以上测定的试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

1.3　数据处理与统计

采用 SAS 9.2 统计软件中一般线性模型（GLM）对试验结果进行双因素方差分析，采用 Duncan 氏法进行多重比较检验，试验数据用平均值和标准误表示，P<0.05 为差异显著。

2　结果与分析

2.1　风速和偏热处理对肉仔鸡生理指标的影响

由表 3 可知，温度和风速的交互作用显著影响 Tc、Fr、Tes、Tcs 和 Tss（P<0.05）。在 26 ℃偏热温度下，与 0 风速相比，风速要达到 1.5 m/s 才会显著降低 Tc（P<0.05），2.0 m/s 高风速下呼吸率才会显著下降（P<0.05），1.5 m/s 及以上风速下肉仔鸡 Tes 显著降低（P<0.05），1.0 m/s 及以上风速下肉仔鸡 Tcs 和 Tss 显著降低（P<0.05）。29 ℃偏热温度下，与 0 风速相比，1.0 m/s 及以上风速使得肉仔鸡 Tc、Tes、Tcs 和 Tss 显著降低（P<0.05）。32 ℃偏热温度下，与 0 风速相比，1.0 m/s 及以上风速使肉仔鸡 Tc 和 Fr 显著降低（P<0.05），除 0.5 m/s 风速使肉仔鸡 Tes 显著升高（P<0.05）外，0.5 m/s 及以上风速使肉仔鸡 Tes、Tcs 和 Tss 显著降低（P<0.05）。另，29 ℃+0.5 m/s 处理下，由于相机存储卡损坏，数据不全，导致肉仔鸡 Fr 偏低，试验数据仅作为参考。

2.2　风速和偏热处理对肉仔鸡内分泌指标的影响

由表 4 可知，温度和风速的交互作用显著影响肉仔鸡血清 T_3 和 CORT 含量（P<0.05）。温度显著影响肉仔鸡血清 CORT 含量（P<0.05）。相比于 26 和 29 ℃，32 ℃偏热处理下，血清 CORT 含量显著升高（P<0.05）。

2.3　风速和偏热处理对肉仔鸡免疫指标的影响

由表 5、表 6 可知，温度和风速及两者交互作用对肉仔鸡血清总蛋白、白蛋白和球蛋白及溶菌酶含量无显著影响（P>0.05）。风速显著影响肉仔鸡血清白细胞介素（IL）–1β 的含量（P<0.05），与 0 风速相比，高风（2.0 和 1.5 m/s）下血清 IL-1β 含量显著降低（P<0.05）。温度和温度于风速两者交互作用对肉仔鸡血清 IL-1β、IL-6 含量无显著影响（P>0.05）。

表 3　风速和偏热处理对肉仔鸡生理指标的影响

Table 3　Effects of air velocity and moderate ambient temperatures on physiological indices of broilers

项目 Items		体核温度 Tc/℃	呼吸频率 Fr/(次/min)	耳叶皮温 Tes/℃	鸡冠皮温 Tcs/℃	小腿皮温 Tss/℃
26 ℃	0	41.18^{ef}	33.80^{h}	40.87^{h}	41.03^{e}	41.61^{d}

	0.5 m/s	40.93^{fg}	54.92^{f}	41.51^{e}	41.08^{de}	41.77^{d}
	1.0 m/s	40.24^{hi}	30.55^{h}	40.89^{h}	39.44^{f}	39.81^{f}
	1.5 m/s	39.85^{i}	28.40^{h}	40.77^{i}	37.52^{h}	39.52^{f}
	2.0 m/s	39.32^{j}	23.95^{i}	40.70^{i}	35.11^{i}	38.74^{g}
29 ℃	0	42.31^{c}	118.75^{c}	41.59^{e}	42.54^{bc}	43.03^{c}
	0.5 m/s	42.29^{c}	86.60^{e}	41.52^{e}	42.33^{bc}	42.74^{c}
	1.0 m/s	41.54^{de}	107.25^{d}	41.39^{f}	41.39^{de}	42.00^{d}
	1.5 m/s	40.41^{gh}	30.00^{h}	41.08^{g}	40.01^{f}	40.84^{e}
	2.0 m/s	40.09^{hi}	21.60^{i}	41.02^{g}	38.32^{g}	40.47^{e}
32 ℃	0	45.59^{a}	137.67^{b}	42.47^{b}	45.66^{a}	46.31^{a}
	0.5 m/s	43.43^{b}	174.65^{a}	42.96^{a}	42.92^{b}	43.64^{b}
	1.0 m/s	41.91^{cd}	118.11^{c}	42.06^{c}	41.78^{cd}	42.09^{d}
	1.5 m/s	41.86^{cd}	106.00^{d}	41.73^{d}	40.91^{e}	41.99^{d}
	2.0 m/s	41.83^{cd}	41.30^{g}	41.68^{d}	41.12^{de}	42.06^{d}
标准误 SEM		0.41	12.84	0.17	0.64	0.48
温度 T/℃	26	40.21^{c}	32.53^{c}	40.93^{c}	38.45^{c}	40.05^{c}
	29	41.16^{b}	68.15^{b}	41.33^{b}	40.65^{b}	41.97^{b}
	32	42.97^{a}	117.44^{a}	42.12^{a}	42.45^{a}	43.39^{a}
风速 AV/（m/s）	0	42.96^{a}	93.02^{b}	41.46^{b}	42.99^{a}	43.97^{a}
	0.5	42.13^{b}	113.15^{a}	41.96^{a}	42.02^{b}	42.78^{b}
	1.0	41.17^{c}	79.00^{c}	41.45^{b}	40.98^{c}	41.18^{c}
	1.5	40.63^{d}	36.97^{d}	41.18^{c}	39.21^{d}	40.71^{d}
	2.0	40.26^{e}	28.63^{e}	41.14^{c}	37.89^{e}	40.40^{e}
P 值 *P*-value	温度 T	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1
	风速 AV	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1
	交互作用 Interaction	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1

表 4　风速和偏热处理对肉仔鸡内分泌指标的影响

Table 4　Effects of air velocity and moderate ambient temperatures on endocrine indices of broilers

项目 Items		三碘甲腺原氨酸 T_3/(nmol/L)	甲状腺素 T_4/(nmol/L)	皮质酮 CORT/(ng/L)
26 ℃	0	3.12[abc]	150.14	53.37[e]
	0.5 m/s	2.58[cdef]	141.95	60.31[de]
	1.0 m/s	3.38[ab]	152.21	71.36[abcde]
	1.5 m/s	3.64[a]	153.38	73.06[abcde]
	2.0 m/s	3.60[a]	132.50	81.09[abc]
29 ℃	0	2.43[def]	128.17	74.11[abcd]
	0.5 m/s	2.96[bcd]	123.13	61.01[de]
	1.0 m/s	2.74[cde]	130.33	70.63[bcde]
	1.5 m/s	2.83[cd]	125.08	75.09[abcd]
	2.0 m/s	2.77[cde]	144.47	60.84[de]
32 ℃	0	1.77[g]	138.80	86.49[ab]
	0.5 m/s	2.26[ef]	143.30	77.08[abcd]
	1.0 m/s	2.07[fg]	153.02	78.66[abcd]
	1.5 m/s	1.55[g]	162.89	63.69[cde]
	2.0 m/s	2.70[cde]	152.03	89.15[a]
标准误 SEM		0.16	3.11	2.64
温度 T/℃	26	3.33[a]	146.03	67.89[b]
	29	2.73[b]	130.69	67.98[b]
	32	2.07[c]	148.89	80.07[a]
风速 AV/（m/s）	0	2.44[b]	139.04	69.94
	0.5	2.54[b]	136.13	67.53
	1.0	2.74[ab]	145.19	73.94
	1.5	2.68[ab]	148.26	70.61
	2.0	3.03[a]	143.00	78.18
P 值 *P*-value	温度 T	<0.000 1	0.088 0	0.019 3
	风速 AV	0.011 9	0.887 9	0.385 9
	交互作用 Interaction	0.006 0	0.910 3	0.036 3

表 5　风速和偏热处理对肉仔鸡血清总蛋白、白蛋白和球蛋白含量的影响

Table 5　Effects of air velocity and moderate ambient temperatures on contents of total protein, albumin and globulin in serum of broilers　　mg/mL

项目 Items		总蛋白 Total protein	白蛋白 Albumin	球蛋白 Globulin
	0	80.90	58.95	21.96
	0.5 m/s	96.46	90.26	6.20
26 ℃	1.0 m/s	104.4	60.68	43.72
	1.5 m/s	98.48	84.83	13.64
	2.0 m/s	95.78	73.6	22.19
	0	90.56	62.05	28.50
	0.5 m/s	104.76	76.95	27.81
29 ℃	1.0 m/s	97.04	69.05	27.99
	1.5 m/s	83.84	66.74	17.11
	2.0 m/s	111.34	77.23	34.11
	0	104.06	76.62	27.45
	0.5 m/s	98.47	67.56	30.92
32 ℃	1.0 m/s	101.01	78.07	22.94
	1.5 m/s	107.72	74.12	33.61
	2.0 m/s	97.40	80.59	16.81
标准误 SEM		2.14	2.31	2.40
	26	95.02	71.71	23.31
温度 T/℃	29	97.50	69.86	27.65
	32	101.55	76.01	25.54
	0	91.74	65.58	26.16
	0.5	100.33	76.76	23.57
风速 AV/（m/s）	1.0	101.15	70.02	31.13
	1.5	96.86	76.76	20.67
	2.0	102.03	77.46	24.57

P 值 *P*-value	温度 T	0.275 2	0.553 8	0.358 6
	风速 AV	0.274 8	0.179 9	0.301 9
	交互作用 Interaction	0.060 0	0.173 8	0.067 0

表 6 风速和偏热处理对肉仔鸡血清溶菌酶、IL-1β 和 IL-6 含量的影响

Table 6 Effects of air velocity and moderate ambient temperatures on contents of lysozyme, IL-1β and IL-6 in serum of broilers

项目 Items		溶菌酶 Lysozyme/(μg/mL)	白介素-1β IL-1β/(ng/L)	白介素-6 IL-6/(ng/L)
26 ℃	0	1.30	81.94[abc]	14.12
	0.5 m/s	1.62	75.04[abc]	13.69
	1.0 m/s	1.60	79.80[abc]	16.33
	1.5 m/s	1.42	70.33[bc]	14.46
	2.0 m/s	1.70	82.95[abc]	13.94
29 ℃	0	1.58	87.34[a]	13.63
	0.5 m/s	1.37	85.97[a]	17.16
	1.0 m/s	1.31	85.66[ab]	14.60
	1.5 m/s	1.49	77.88[abc]	15.46
	2.0 m/s	1.56	68.11[c]	15.99
32 ℃	0	1.32	90.88[a]	14.61
	0.5 m/s	1.54	68.34[c]	16.51
	1.0 m/s	1.46	82.39[abc]	16.71
	1.5 m/s	1.54	69.74[bc]	16.38
	2.0 m/s	1.47	70.19[bc]	15.59
标准误 SEM		0.03	1.98	0.30
温度 T/℃	26	1.53	77.84	15.92
	29	1.47	80.44	15.36
	32	1.46	74.71	15.92
风速 AV/（m/s）	0	1.41	85.86[a]	14.12
	0.5	1.51	76.55[ab]	15.79

	1.0	1.47	82.85[ab]	15.88
	1.5	1.46	72.65[b]	15.26
	2.0	1.58	73.05[b]	15.18
	温度 T	0.606 6	0.441 8	0.371 4
P 值 *P*-value	风速 AV	0.425 8	0.025 7	0.667 1
	交互作用 Interaction	0.217 0	0.301 8	0.897 9

3 讨 论

3.1 风速和偏热处理对肉仔鸡生理指标的影响

肉仔鸡 Tc、Ts 和 Fr 是评价高温环境对生理机能影响最为基础和常见的指标，能够直观准确地反映机体的热生理状态和舒适程度，尤其在评价热应激对肉仔鸡体热平衡时，是重要的生理指标。

前人大多单独考虑温度和风速各自对于家禽生理功能的影响。诸多研究表明高温会升高家禽的 Tc、Fr 和 Ts。Lacey 等[15]和 Yanagi 等[16]先后研究了急性热应激处理对肉鸡 Tc 的影响，发现高温会显著升高 Tc，而且温度越高，Tc 上升的程度越高。当环境温度过高时，家禽的 Fr 升高，体内过多的热量会通过蒸发（潜热）散热来维持机体热平衡。有研究表明急性高温热应激会加快家禽的 Fr[17]。有报道称，35 ℃的急性高温会使得鸡的 Fr 从 19 次/min 迅速升至 188 次/min[18]。研究表明，环境温度的升高会引起肉仔鸡身体不同部位 Ts 的上升，如鸡冠、面部、脖、翅、腿、趾和脚蹼具有不同程度地升高[19]。进一步地研究发现，裸露无羽区 Ts 的变化比覆羽区更加敏感[20]，主要集中在头部和腿脚部。同时张少帅等[11]研究发现，相对于 21 ℃，偏热处理（26 和 31 ℃）下，肉仔鸡脸部及小腿的 Ts 显著升高。不同的风速同时影响家禽的 Tc、Fr 和 Ts。然而 Furlan 等[7]的结论不一样，报道称 29 ℃下，低于 4.5 m/s 的风速不会影响头部温度，2.0 m/s 风速时，腿部温度才开始下降。Yahav 等[4]研究指出，肉鸡在高温环境下[（35±1.0） ℃，(60±2.5)% RH），最适宜的风速为 2.0 m/s，此时体温最低。

本试验结合温度和风速 2 个因素，分析了两者对于家禽 Tc、Fr 和 Ts 的影响。结果发现，较高偏热和无风（32 ℃+0 风速）或较高偏热和低风（32 ℃+0.5 m/s 风速）下肉仔鸡 Tc 、Ts、Fr 较高。而较低偏热温度（26 ℃）下，肉仔鸡对于风速的敏感性较小，风速要达到 1.0 m/s 才会显著降低 Tc，2.0 m/s 高风速下 Fr 才会显著下降。此时风速产生的“风冷效应”并不明显。考虑到生产成本的问题，并不建议在较低偏热温度下开启风机。而随着偏热温度的增

加，风速对于肉仔鸡的影响逐渐增大。29 ℃偏热温度、1.0 m/s 风速下，肉仔鸡 Tc 显著降低；32 ℃偏热温度、1.0 m/s 风速下，肉仔鸡 Tc 和 Fr 显著降低。而 Ts 对于风速的的敏感性要高一些，在 26 和 29 ℃偏热温度、1.0 m/s 风速下，肉仔鸡 Tes、Tcs 和 Tss 显著降低；随着偏热温度的上升，32 ℃偏热温度、0.5 m/s 风速下，肉仔鸡 Tcs 和 Tss 显著降低。偏热温度越高，较小的风速便会影响 Ts。

出现以上结果可能跟肉仔鸡内部体温调节机制有关。一般情况下，当温度高于舒适区时，家禽首先做出反应的是皮肤（最先感知外界温度的变化），表皮血流量增大，将机体内部的热量向表皮扩散，此时 Ts 会显著上升；其次，机体会通过行为进行调节，伸展，俯卧，扩大散热面，减少活动量，同时 Fr 会快速上升，潜热散热的比重会增加；最后，若环境温度持续升高，机体无法通过行为和物理调节散失过多的热量，就会引起体核温度的升高。本试验选取了鸡冠、耳叶和小腿 3 个敏感部位进行测量，其中鸡冠血管分布较为密集，血流量大，对于热量的变化较为敏感；耳叶，俗称耳垂，是靠近体温调节中枢较近的生理区域，与头部温度有着密切联系，一定程度上可以反映机体温度；小腿的表面积较大，是热量快速交换的重要场所。风速带来的"风冷效应"会随着风速的增加而增大，对流散热也随之上升，裸露皮肤表面的热量被带走，因此皮温会随着风速的增加而降低。

同时试验结果表明，在 26 和 32 ℃偏热温度、0.5 m/s 风速下，机体的 Tc 和 Fr 要显著高于无风和其他风速。这似乎与传统的风速散热理论相违背。这可能是由于机体呼吸机制和体温调节机制的反应有一定滞后性，偏热伴随着较低风速对机体施加的热负荷量要大于"风冷效应"。我们猜想，环境因素所表征的热负荷[21]与风速的降温效果之间存在一个平衡点：在平衡点以下，风冷效应低于热负荷量，机体为了散发过多的热量 Fr 加快，但是代谢率也会增加，体温反而会升高；随着风速的增加，风冷效应高于热负荷量，此时机体过多的热量会通过对流的方式散发，呼吸率下降，体温也随之下降。这一猜想是否正确，能否揭示其中内在的机制还有待进一步的研究验证。然而通过对行为学和粪便代谢组学等非侵入、无干扰指标的研究可能会给出一定的答案和解释。观察 Tc 变化发现，在各偏热处理下，1.5 和 2.0 m/s 风速 Tc 最小，且 2 个风速间差异不显著，而综合考虑经济效益的话，1.5 m/s 风速可能是偏热环境下（26~32 ℃）的适宜风速。

3.2　风速和偏热处理对肉仔鸡内分泌指标的影响

T_3、T_4 和 CORT 是反应家禽热应激状态的常用的内分泌指标。T_3 和 T_4 是由甲状腺分泌，CORT 是由肾上腺分泌，以上激素均参与蛋白质、脂肪和糖类的代谢过程，调节机体进行产热。本试验发现，温度和风速的交互作用显著影响肉仔鸡血清 T_3 和 CORT 含量，在各个偏

热温度下，风速对上述指标的影响并没有呈现一定的规律性，说明偏热和风速对内分泌指标影响的复杂性。不过我们可以看出大致的趋势，较高偏热会降低 T_3 含量，升高 CORT 含量，使得应激程度加重。32 ℃+0 风速处理下肉仔鸡血清中 T_3 含量较低，机体受应激程度较大，而 26 ℃高风速（1.5~2.0 m/s）下 T_3 含量较高，说明较低偏热和高风处理下肉仔鸡的应激状况较小。有研究表明高温热应激（>32 ℃）下，血清 T_3、T_4 和 CORT 的分泌会受到不同程度影响。有报道称，35 ℃高温下鸡血液 T_3 含量显著降低[22]；还有研究发现，随着时间和温度的持续和上升，血清中 T_3 和 T_4 含量逐渐下降[23]；刘思当等[24]研究发现，33 ℃高温处理下肉鸡血清 CORT 含量显著升高。本试验结果说明偏热和风速处理下，糖皮质和肾上腺激素的分泌已经受到影响，较高偏热（32 ℃）和无风情况下，机体能量代谢受到影响。

3.3 风速和偏热处理对肉仔鸡免疫指标的影响

动物机体的免疫反应主要是通过识别和排除抗原性异物，使得体内外环境的保持稳定状态[25]。家禽的免疫系统包括 3 个层面，分别是免疫器官、免疫细胞和免疫分子，是共同组成了免疫应答的物质基础。良好的免疫功能是机体健康的前提和保障。有关风速对于家禽免疫功能等方面的研究未见报道。

本试验初步探索了风速对肉仔鸡免疫性能的影响，发现偏热处理 2 h 和风速（0~2.0 m/s）对血清总蛋白、白蛋白、球蛋白、溶菌酶和 IL-6 含量并无显著影响，仅有高风（2.0 和 1.5 m/s）比起无风会显著降低 IL-1β 的含量。Ostrowski-Meissner 等[26]在研究短期热应激对肉鸡生理生化指标时发现，42 ℃急性处理 15 min 会降低血液中总蛋白含量。这可能与温度处理的强度有关，说明偏热处理并不显著影响肉仔鸡血液中蛋白的含量。另一方面，处理时间的长短也是影响因素之一。刘思当等[24]对肉仔鸡施加高温高湿处理（32.5~34.5 ℃，80%~90% RH）并在 6 h、1 d、2 d、3 d、5 d、7 d、10 d、14 d、17 d 进行连续观察，结果发现随着热应激时间的增加血清中总蛋白、白蛋白和球蛋白含量逐渐下降。本试验处理时间为 2 h，可能还未对机体的免疫性能产生影响。仅有高风（2.0 和 1.5 m/s）会显著降低 IL-1β 的含量，说明偏热处理下较高风速肉仔鸡的炎症反应较轻。而风速对于肉仔鸡其他免疫指标的影响并不明显，并没有发挥出较大的作用。一方面可能是上述免疫指标对于风速并不敏感所致，另一方面可能是处理的时间和强度并没有引起上述免疫指标的变化。

4 结 论

① 风速和偏热处理的交互作用显著影响肉仔鸡 Tc、Ts、Fr、血清 T_3 和 CORT 含量。

② 偏热处理、低风速（0.5 m/s）下，肉仔鸡热负荷会加重，风速对肉仔鸡免疫指标影响较小，最适风速为 1.5 m/s。

③ 偏热处理下风速不同程度影响肉仔鸡生理、内分泌和免疫指标。

参考文献：

[1] DRURY L N.Air velocity and broiler growth in a diurnally cycled hot environment[J].Transactions of the ASAE,1966,9(3):329–332.

[2] DRURY L N,SIEGEL H S.Air velocity and heat tolerance of young chickens[J].Transactions of the ASAE,1966,9(4):583–585.

[3] LACY M P,CZARICK M.Tunnel-ventilated broiler houses:broiler performance and operating costs[J].The Journal of Applied Poultry Research,1992,1(1):104–109.

[4] YAHAV S,STRASCHNOW A,LUGER D,et al.Ventilation,sensible heat loss,broiler energy,and water balance under harsh environmental conditions[J].Poultry Science,2004,83(2):253–258.

[5] TIMMONS M B,HILLMAN P E.Partitional heat losses in heat stressed poultry as affected by wind speed[M]//4th International Livestock Environment Symposium.London:ASAE Special Publication,1993.

[6] SIMMONS J D,LOTT B D,MAY J D.Heat loss from broiler chickens subjected to various air speeds and ambient temperatures[J].Applied Engineering in Agriculture,1997,13(5):665–669.

[7] FURLAN R L,MACARI M,SECATO E R,et al.Air velocity and exposure time to ventilation affect body surface and rectal temperature of broiler chickens[J].Journal of Applied Poultry Research,2000,9(1):1–5.

[8] YAHAV S,DRUYAN S,RUSAL M,et al.Diurnally cycling temperature and ventilation affect young turkeys’ performance and sensible heat loss[J].Journal of Thermal Biology,2011,36(6):334–339.

[9] 陶秀萍.不同温湿风条件对肉鸡应激敏感生理生化指标影响的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2003.

[10] 彭骞骞,王雪敏,张敏红,等.持续偏热环境对肉鸡盲肠菌群多样性的影响[J].中国农业科学,2016,49(1):186–194.

[11] 张少帅,甄龙,张敏红,等.急性偏热处理对肉仔鸡体热调节功能的影响[J].动物营养学报,2016,28(2):402–409.

[12] 周莹,张敏红.相对湿度对家禽水蒸发散热和健康的影响[J].动物营养学

报,2016,28(2):353–360.

[13] 胡春红,张敏红,冯京海,等.偏热刺激对肉鸡休息行为、生理及生产性能的影响[J].动物营养学报,2015,27(7):2070–2076.

[14] 甄龙,石玉祥,张敏红,等.持续偏热环境对肉鸡生长性能、糖脂代谢及解偶联蛋白mRNA表达的影响[J].动物营养学报,2015,27(7):2060–2069.

[15] LACEY B,HAMRITA T K,LACY M P,et al.Assessment of poultry deep body temperature responses to ambient temperature and relative humidity using an on-line telemetry system[J].Transactions of the Asae,2000,43(3):717–721.

[16] YANAGI T,XIN H W,GATES R S.A research facility for studying poultry responses to heat stress and its relief[J].Applied Engineering in Agriculture,2002,18(2):255–260.

[17] ZHOU W T,FUJITA M,YAMAMOTO S.Thermoregulatory responses and blood viscosity in dehydrated heat-exposed broilers (*Gallus domesticus*)[J].Journal of Thermal Biology,1999,24(3):185–192.

[18] RAUP T J,BOTTJE W G.Effect of carbonated water on arterial pH,P_{CO2} and plasma lactate in heat-stressed broilers[J].British Poultry Science,1990,31(2):377–384.

[19] CANGAR O,AERTSJ M,BUYSE J,et al.Quantification of the spatial distribution of surface temperatures of broilers[J].Poultry Science,2008,87(12):2493–2499.

[20] DE SOUZA J B F,Jr,DE ARRUDA A M V,DOMINGOS H G T,et al.Regional differences in the surface temperature of Naked Neck laying hens in a semi-arid environment[J].International Journal of Biometeorology,2013,57(3):377–380.

[21] 张少帅,张敏红.风速在家禽热平衡调节中的作用[J].动物营养学报,2015,27(5):1348–1354.

[22] 杨琳,杜荣,张子仪.环境温度对鸡饲粮代谢能测值及血浆中甲状腺激素浓度的影响[J].中国动物营养学报,1993,4(2):45–495.

[23] TAO X,ZHANG Z Y,DONG H,et al.Responses of thyroid hormones of market-size broilers to thermoneutral constant and warm cyclic temperatures[J].Poultry Science,2006,85(9):1520–1528.

[24] 刘思当,宁章勇,谭勋,等.热应激对肉仔鸡血液生化指标影响的观察[J].中国兽医杂志,2003,39(9):20–23.

[25] 杨汉春.动物免疫学[M].2版.北京:中国农业大学出版社,2003.

[26] OSTROWSKI-MEISSNER H T.The physiological and biochemical responses of broilers exposed to short-term thermal stress[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Physiology,1981,70(1):1–8.

Effects of Air Velocity and Moderate Ambient Temperatures on Physiological, Endocrine and Immune Indices of Broilers[i]

ZHANG Shaoshuai[1] DIAO Huajie[1,2] ZHANG Minhong[1*] FENG Jinghai[1] ZHOU Ying[1] LI Meng[1,2] LI Xiumei[1]

(1. *State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100193, *China*; 2. *College of Animal Science and Technology, Northeast Agricultural University, Harbin* 150030, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of air velocity and moderate ambient temperatures on physiological, endocrine and immune indices of broiler chickens. One hundred and fifty 42-day-old Arbor Acres male broilers were assigned randomly to fifteen treatments, each treatment contained ten birds and each bird as a replicate. These birds were raised in environment chamber [21 ℃+60% relative humidity (RH)]. Before each treatment ten selected birds were placed into another environment chamber with tunnel ventilation which made by our laboratory. Each treatment contained 6 h adaptive period (*ad libitum*) and 6 h test period (no feed and water). Adaptive period and reserved chamber both were 21 ℃+60% RH. Environment chamber set temperature and humidity (60% RH), air velocity was controlled by tunnel ventilation chamber. The 3×5 two factorial design was used, and temperature had three levels as 26, 29 and 31 ℃, while air velocity had five levels as 0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 m/s. Each treatment was achieved within 1 h, and the data was collected from 2 to 6 h. The results showed as follows: 1) interaction of air velocity and temperature significantly affected core body temperature (Tc), respiratory frequency (Fr), skin temperature (Ts), and serum contents of 3,5,3'-triiodothyronine (T_3) and cortisol of broilers (P<0.05). Compared with 0 air velocity, under 26 ℃ condition, 1.5 m/s or higher air velocity significantly reduced Tc (P<0.05), 2.0 m/s or higher air velocity significantly reduced Fr (P<0.05), 1.5 m/s or higher air velocity significantly reduced earlobe skin temperature (Tes), and 1.0 m/s or higher air velocity significantly reduced comb skin temperature (Tcs) and shank skin temperature (Tss) (P<0.05) of broilers; under 29 ℃ condition, 1.0 m/s or higher air velocity significantly reduced Tc, Tes, Tcs and Tss (P<0.05) of broilers; under 32 ℃ condition,

1.0 m/s or higher air velocity significantly reduced Tc and Fr (P<0.05), and 0.5 m/s or higher air velocity significantly reduced Tes, Tcs and Tss (P<0.05) of broilers; 32 ℃+0 air velocity and 32 ℃+0.5 m/s air velocity increased Tc, Ts, Fr and reduced T_3 deeply, which meant broilers were under stress heavily. 2) Under acute moderate temperatures, low air velocity (0.5 m/s) exacerbated heat load, air velocity had no effect on immune indices of broilers, and the best air velocity was 1.5 m/s. In conclusion, air velocity at moderate temperatures affects physiological, endocrine and immune indices of broilers in some degrees.

Key words: air velocity; acute moderate temperature; broilers; physiological; endocrine; immune

---

*Corresponding author, professor, E-mail: zmh66@126.com (责任编辑　田艳明)